

Оценка качества освещения по яркостной фотографии и синтезированному изображению трехмерной сцены

Владимир Будак¹, Виктор Желтов¹, Виктор Чембаев¹, Татьяна Мешкова¹

budakvp@mpei.ru | zheltov@list.ru | chembervint@gmail.com | tvmesh@mail.ru

¹кафедра светотехники, Национальный исследовательский университет "МЭИ", Москва, Россия

В статье предлагается новый критерий качества освещения, расширяющий существующий UGR. Предложенный критерий апробируется в эксперименте на реальных осветительных установках – станциях московского метрополитена. На станциях метрополитена проводится измерение пространственно-углового распределения яркости с помощью фотоаппарата, снимающего в RAW формате и яркомера. Яркомер используется для нормирования изображения на абсолютные значения яркости. В эксперименте наблюдатели оценивают качество освещения станций и проводится сравнение результатов с расчетом нового критерия. Показана высокая корреляция результатов, полученных наблюдателями и рассчитанных с помощью нового критерия качества. Для ряда станций строится трехмерная модель, и проводится расчет критерия по модели. В статье делается вывод о применимости критерия качества к оценке качества освещения. При этом предложенный критерий можно считать расширением уже существующего UGR.

Ключевые слова: качество освещения, яркость, уравнение глобального освещения.

Evaluation of the quality of illumination based on the luminance photo and the visualization of the 3D scene

Vladimir Budak¹, Victor Zheltov¹, Victor Chembayev¹, Tatiana Meshkova¹

budakvp@mpei.ru | zheltov@list.ru | chembervint@gmail.com | tvmesh@mail.ru

¹department of lighting technology, Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia

The article proposes a new criterion for lighting quality that extends the existing UGR. The proposed criterion is tested in an experiment on real lighting installations - Moscow metro stations. At metro stations, the spatial-angular distribution of luminance is measured using a camera that shoots in RAW format and a luminance meter. A luminance meter is used to normalize the image to absolute luminance values. In the experiment, observers evaluate the quality of station lighting and compare the results with the calculation of a new criterion. A high correlation of the results obtained by observers and calculated using the new quality criterion is shown. For a few stations, a 3D model is built, and the criterion is calculated according to the model. The article concludes that the quality criterion is applicable to the assessment of lighting quality. Moreover, the proposed criterion can be considered an extension of the existing UGR.

Keywords: quality of lighting, luminance, global illumination equation, UGR

1. Введение

Одним из основных источников информации об окружающем мире является зрение. Глаз человека реагирует на свет, отраженный от окружающих предметов – яркость падающего излучения. Так, в компьютерной графике при визуализации трехмерных сцен решается, теми или иными методами, уравнение глобального освещения (УГО) [4], позволяющее моделировать яркость. Отметим, что сегодня методы решения позволяют получать точное несмещенное значение яркости в произвольной точке пространства [1].

Методы решения УГО из компьютерной графики нашли свое отражение в светотехническом проектировании, когда моделируется еще не существующая осветительная установка (ОУ). Однако происходит это с некоторым запозданием. Так, если методы решения на основе метода конечных элементов уже являются фактически устаревшими в компьютерной графике, то в светотехнике они занимают лидирующие позиции. Что находит свое отражение в таких программных пакетах как DIALux и Relux. При этом моделируется не яркость, а освещенность, на которую глаз человека не реагирует.

При проектировании осветительных установок инженер-проектировщик опирается на нормативные документы, нормирующие как количественные показатели, так и качественные. Отметим, что среди количественных преобладают характеристики, связанные с освещенностью. Что связано с образовавшимся замкнутым кругом в

светотехнике между нормативной документацией и возможностями расчетов и измерений. В основе качественных показателей, на которые может влиять проектировщик при создании ОУ, находится объединенный показатель дискомфорта UGR, который основан на учете малоразмерных блестящих источников [5].

Однако, еще в 1915 году было показано, что решающее значение на качество освещения имеет угловое распределение яркости в поле зрения наблюдателя [3]. Что находило свое подтверждение и в дальнейших работах, в том числе и советских исследователей [7]. Однако это и по сей день не нашло своего отражения при проектировании ОУ.

2. Критерий качества освещения

В работе [6] был предложен критерий качества освещения на основе анализа пространственно-углового распределения яркости (ПУРЯ), который был апробирован на лабораторной установке [5]. В рамках данной работы в критерий были внесены незначительные коррективы. Согласно новому критерию качество освещения может быть оценено из заданной точки в пространстве сцены в заданном направлении как

$$Q = \frac{1}{K_{пор}} \int K(x, y)h(x, y)dx dy, \quad (1)$$

где $K_{пор}$ – пороговое значение контраста, h – весовая функция, позволяющая учитывать светотехническую

задачу, $K(x,y)$ – обобщенный контраст в точке сцены, определяемый как

$$K(x,y) = \frac{|\text{grad}(L(x,y)p(x,y))|}{\bar{L}}, \quad (2)$$

а средняя яркость определяется

$$\bar{L} = \frac{1}{A} \int_{(A)} L(x,y)p(x,y)dx dy, \quad A = \int_{(A)} dx dy. \quad (3)$$

Переменные x и y – определяются в плоскости анализа кадра изображения, видимого из исследуемой точки, в заданном направлении, $p(x,y)$ – функция, связанная с неравномерностью плотности распределения колбочек и палочек по сетчатке глаза.

В предложенном критерии любое изменение яркости будет давать вклад в результат. При этом очевидно, что перепады яркости ниже некоторой яркости не вносят дискомфорта в восприятие. Отметим, что величина Q есть обобщение видимости, в которой должна учитываться решаемая зрительная задача, что требует отдельного исследования. В рамках настоящей работы ограничимся предельным случае $Q=1$.

$$K(x,y) = \begin{cases} L(x,y) \leq L_{\text{пор}} & \rightarrow 0 \\ L(x,y) > L_{\text{пор}} & \rightarrow K(x,y) \end{cases} \quad (4)$$

3. Экспериментальное исследование критерия качества освещения в московском метрополитене

В рамках нашей работы было проведено исследование критерия качества в реальных осветительных установках. В качестве объектов исследования были выбраны новые станции московского метрополитена, построенные в последние годы. Такой выбор был обусловлен наличием нетиповых ОУ в одном классе объектов и тем фактом, что в метрополитене применяется огромное количество бликующих строительных материалов – гранит, мрамор, металл, стекло и т.п.

В качестве исследуемых станций была выбрана 21 станция. Станции выбирались до проведения эксперимента как заведомо «хорошие», так и «плохие» – на которых было очевидно, что освещение сильно бликует или наоборот кажется мне достаточно равномерным. При проведении эксперимента, на каждой станции выбирались от 1 до 4-х ракурсов, в которых производилась съемка широкодиапазонной фотографии фотоаппаратом Nikon D3100 в Raw формате. Также проводился замер яркости яркомером Konika Minolta LS-100 для последующей нормировки фотографии на абсолютные значения яркости.

В эксперименте принимали участие три человека, которые выставляли субъективную оценку качества освещения станции по шкале от 0 до 10. При этом 0 – соответствует условно «качественному» освещению, 10 – освещение на станции дискомфортно. При этом под «качеством» в первую очередь понимался зрительный комфорт, вызванный освещением на станции.

При обработке результатов по предложенному критерию качества, в качестве пороговой яркости на первом этапе была взята средняя яркость по станции. Отметим, что аналогично низкие значения яркости отсекались и в работе [2], где также делается попытка анализа качества освещения на основе пространственно-углового распределения яркости. На рисунке 1 сверху представлена оригинальная фотография станции метро Говорово и ее контраст, а снизу соответствующие изображение после коррекции по формуле (4).

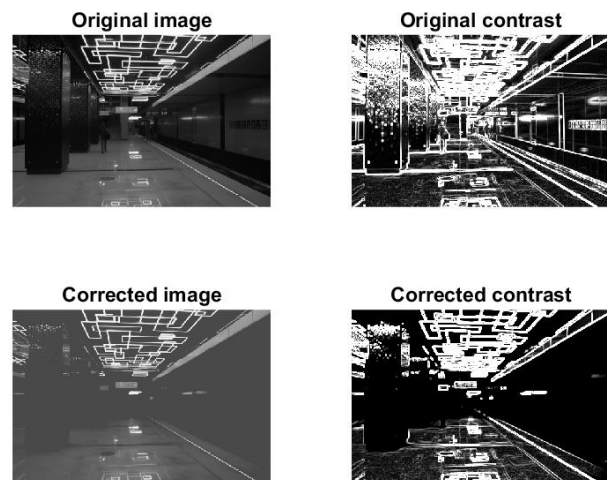


Рис. 1. Обработка фотографий станции Говорово.

На рисунке 2 представлена карта рассеяния критерия качества освещения и ответов наблюдателей. Коэффициент корреляции для полученных результатов составил 0.5709.

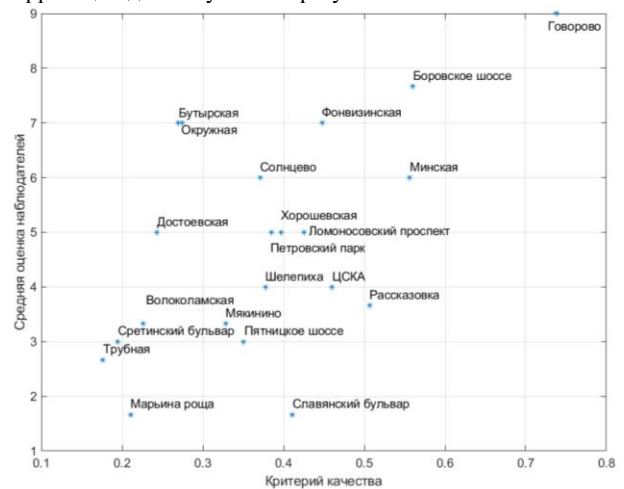


Рис. 2. Рассеяние средней оценки наблюдателей и критерия качества освещения при яркости адаптации равной средней яркости на станции. Шрифт графика увеличить

Вопрос пороговой яркости для каждой из станций неоднозначен. Необходимо учитывать, что проведение эксперимента в метро было сопряжено с организационными сложностями и временными ограничениями, в результате наблюдатели находились на станции от 5 до 15 минут. При этом перемещались между станциями в вагонах метро, в которых яркость менялась очень сильно. При этом были проведены замеры яркости в вагонах и было получено среднее значение 183 кд/м². Предположим, что пороговая яркость должна формироваться отчасти от средней яркости по станции и средней яркости в вагонах метро

$$L_{\text{пор}} = cL_{\text{ср.вагон}} + (1-c)L_{\text{ср.станции}} \quad (5)$$

Так для $c=0.5$ коэффициент корреляции составил 0.7586, что является сильной корреляцией по шкале Чеддока. Также был проведен расчет зависимости коэффициента корреляции от коэффициента c в диапазоне от 0 до 1. В результате коэффициент корреляции лежал от 0.57 до 0.77.

На основании проведенного эксперимента можно сделать вывод о том, что в целом предложенный критерий качества хорошо согласуется с экспертными оценками наблюдателей.

4. Моделирование станций московского метрополитена

Для 4-х станций были построены модели в DIALux и проведен расчет UGR, результаты расчета приведены в таблице 1. Отметим, что DIALux, в силу диффузной модели отражений, лежащей в основе метода излучательности, учитывает только прямые блики от источников света, а как видно на рисунке 1, на станциях огромное количество вторичных бликов.

Все станции уложились в нормы по UGR, но наблюдатели испытывали дискомфорт на станциях Говорово и Боровское шоссе. При этом, важно, что динамика UGR и предложенного критерия качества имеют сходную тенденцию. Таким образом, предложенный критерий качества не только не противоречит UGR, но и уточняет его.

Одним из несмещенных методов моделирования уравнения глобального освещения являются локальные оценки метода Монте-Карло [1]. В рамках нашей работы был реализован этот алгоритм. На основе созданной программы был проведен расчет трех исследуемых станций. На рисунке 4 представлены фотографии и визуализации этих станций.

Станция	Оценка	UGR	Q
Говорово	9	17	0.94
Боровское шоссе	8	16	0.58
Солнцево	6	19	0.50
Ломоносовский проспект	5	12	0.48

Табл. 1. Результаты моделирования станций в DIALux.

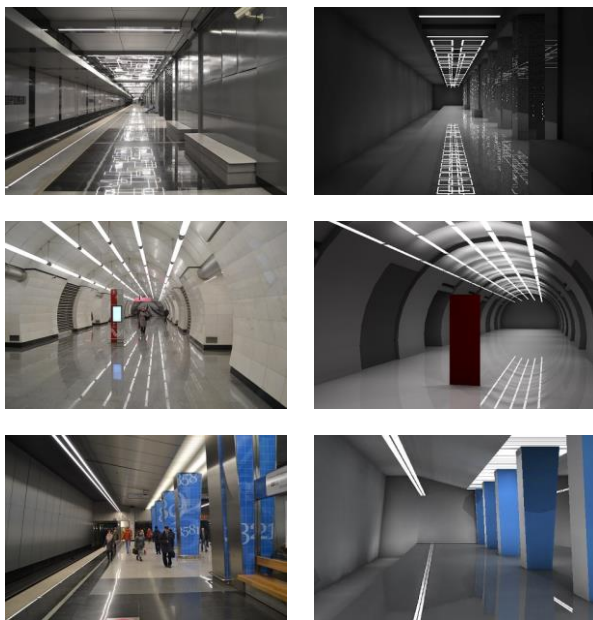


Рис. 4. Фотографии и визуализации станций Московского метрополитена: Говорово, Окружная, Ломоносовский проспект.

Для полученных визуализаций был также рассчитан критерий качества. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Станция	Эксперимент	Визуализация
Говорово	0.9396	1.0157
Окружная	0.3200	0.3991
Ломоносовский проспект	0.4755	0.2558

Табл. 2. Значения критерия качества по фотографиям и визуализациям моделей станций.

Результаты для станций Говорово и Окружная получились очень близкими к эксперименту. Расхождение же для станции Ломоносовский проспект, по всей видимости, связано с неточностью построения модели.

5. Заключение

Предложенный критерий качества, на данный момент, успешно апробирован как на лабораторной установке, так и в реальных осветительных установках. Безусловно, требуется еще огромное количество экспериментов, прежде чем рассмотренный критерий сможет найти свое отражение в повседневной инженерной практике при расчетах ОУ.

Тем не менее, проведенные эксперименты показывают, что предложенный критерий позволяет не только оценивать уже существующую осветительную систему, но и может оценивать качество освещения еще не существующей ОУ, только моделируемой на компьютере.

Появление новых методов решения уравнения глобального освещения, позволяющих не смещено оценивать непосредственно яркость, должно найти свое применение в инженерной практике светотехнического проектирования. И уже в целом этот процесс начинается, так DIALux Evo построен на методе фотонных карт, однако в России до сих пор он не находит широкого распространения. А даже там, где он используется в качестве моделей отражения, зачастую используют диффузную. Однако, возможность моделирования непосредственно яркости, с появлением критерия качества на ее основе, становится уже не самоцелью, а подлинной ценностью.

6. Благодарности

Авторы выражают благодарность всем сотрудникам московского метрополитена, принявшим участие в эксперименте. А также лично и.о. главного инженера М. А. Шевченко и старшего механика службы электроснабжения Малютину П. В. Отдельно выражаем благодарность Столяревской Р. И. за помощь в определении погрешностей измерений.

7. Литература

- [1] Budak V., Zheltov V., Notfulin R., Chembaev V. Relation of instant radiosity method with local estimations of Monte Carlo method // Journal of WSCG. 2016.
- [2] Cai H. Luminance gradient for evaluating lighting // Lighting Res. Technol. 2013; 0: 1–21
- [3] Ferree C. и Rand G. Tr. IES 1915
- [4] Kajiya J.T. The rendering equation // Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH'86), 1986. V.20, N4. P.143-150
- [5] Будак В.П., Желтов В. С., Чембаев В.Д., Мешкова Т.В. Оценка качества внутреннего освещения в сценах с неравномерными блестящими источниками // GraphiCon 2018, Томск, 24–27 сент., 2018 г. С.411-414
- [6] Будак В.П., Желтов В. С., Мешкова Т.В., Нотфуллин Р.Ш. Оценка качества освещения на основе пространственно-углового распределения яркости // Светотехника. 2017. № 3. С. 17-22.
- [7] Епанишников М. М. Принципы нормирования и методы расчета освещения помещений общественных

зданий: Автореферат дисс. доктора технических наук // МЭИ, Москва, 1966. 42 с.

Об авторах

Будак Владимир Павлович, д.т.н., профессор кафедры светотехники национального исследовательского университета "МЭИ".

Желтов Виктор Сергеевич, к.т.н., ассистент кафедры светотехники национального исследовательского университета "МЭИ".

Чембаев Виктор Дмитриевич, аспирант кафедры светотехники национального исследовательского университета "МЭИ".

Мешкова Татьяна Валерьевна, аспирант кафедры светотехники национального исследовательского университета "МЭИ".